

土壤干湿交替对玉米耗水特性 及水分利用的影响*

梁宗锁¹ 康绍忠^{1,2} 邵明安¹ 张建华³

(1 中国科学院水利部,水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,陕西杨陵 712100)

(2 西北农林科技大学农业水工工程研究所,陕西杨陵 712100)

(3 香港浸会大学生物系,香港九龙塘)

EFFECT OF WETTING AND DRYING CYCLE OF SOIL ON CONSUMPTION CHARACTER OF WATER BY MAIZE

Liang Zong-suo^{1,2} Kang Shao-zhong^{1,2} Shao Ming-an¹ Zhang Jian-hua³

(1 State key Laboratory of Soil Erosion and Dry Land on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100)

(2 Institute of Agricultural Soil and Water Engineering, North West Science and
Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100)

(3 Hongkong Baptist University, Kooloon Tong, HongKong)

关键词 土壤干旱,耗水特性,玉米

中图分类号 S513

旱地农业与灌溉农业中作物经常面临的土壤干旱与湿润交替变化是实际田间环境^[1]。作物在生长发育的不同时期可能会遇上各不相同的土壤缺水胁迫,这些不同胁迫会对作物诱导出适应性的生理反应和伤害性影响^[2,3],对此进行研究和认识,可以在节水灌溉中控制作物生长发育不同阶段土壤水分来调节作物生理过程,避免伤害性变化的发生,而促进适应性变化的产生,以改善作物发育后期籽粒形成阶段根系和叶片的功能来提高作物产量、品质和水分利用效率,达到高效、优质的目的。本文主要研究玉米在土壤干湿交替过程中的耗水特性和叶水分状况的关系,探讨提高水分利用效率的机制,为节水农业提供优化供水模式。

1 材料与方 法

于 1998 年在香港浸会大学生物系温室进行,将陕单 9 号玉米杂交种的种子播入口径 16 cm,高 18 cm 的生长钵内,内装 1.8 kg 混合土(蛭石、泥炭和沙子按体积 7:3:2)混合,加入适量复合肥,在 26~30℃ 温室中生长,用高压钠灯做为光源,光合有效辐射(PAR)约为 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。植株供水良好,每钵留两

* 国家青年基金(59909007)与国家杰出青年基金(49725102)资助项目

收稿日期:2000-01-03;收到修改稿日期:2000-12-25

裸生长均匀一致的苗子, 大约 1 个月后, 待玉米长至 3 至 4 叶期开始处理, 对照每天加水 100 ml, 处理则停止浇水, 使其逐渐干旱, 达到处理要求后再行灌水 300 ml, 经过两次复水, 即形成干—湿—干—湿—干循环过程。历时 22 天, 每天定时测定各项指标。

1.1 水分指标与耗水量测定

叶水势用 3005 型压力室测定, 渗透势用 W_{esor} 5500 型蒸汽压力计测定, 膨压由叶水势减去渗透势的绝对值计算, 相对含水量(RWC)测定参见文献[4], 每处理重复测定 5 片叶子。玉米蒸腾耗水量测算: 在加水后用铝箔密封盖土面, 用感量 1/1 000 g 的电子天平每天 11:00~ 13:00 称取各处理 3 盆, 计算耗水量($\text{g 株}^{-1} \text{h}^{-1}$)。气孔导度与蒸腾速率: 用 Licor- 1600 稳态气孔计测定每处理 5 片叶子。

每天用直尺定植定时测量 10 株平均计算相对生长速率 $\text{RGR} = 1/L_0 \cdot dL/dt$; L_0 为原植株高度, dL/dt 为每天增量。生物量取每处理 3 盆, 共 6 株, 105 °C 烘干, 求单株平均值(g)。耗水量近似以总加入水量记录值计。总水分利用率= 单株生物量/单株耗水量。

2 结果分析

2.1 土壤干湿交替对玉米水分状况和生长速率的影响

测定结果表明, 对照适宜土壤水分条件下, 玉米叶水势(ϕ_w)一直在 - 0.5 MPa 左右小范围变化, 而在干湿交替处理过程中, 玉米叶片水势则随土壤水分变化波动较大(表 1), 第一次干旱过程中, 7 天后降到 - 1.5 MPa, 复水 24h 后升至 - 0.5 MPa, 经第二次干旱 1 周后降至 - 1.7 MPa, 叶水势随干湿交替变化明显。渗透势变化与水势变化趋势相似, 但第三次干旱后, 渗透势降至 - 2.0 MPa 的较低水平, 比较 RWC 与渗透势(ϕ_s)可以看出, 渗透势在第一、二次干旱中两者接近, 而第三次干旱后 RWC 较高时(90% 左右) ϕ_s 已明显降低, 证明玉米叶已发生了渗透调节。由 ϕ_w 和 ϕ_s 计算的叶片膨压变化趋势也可以看出, 同样干旱进程中, 第三次干旱中可以维持较高的膨压, 而干旱下膨压的维持是叶片生长速率维持的条件。由干旱进程中叶相对生长速率也可以明显的看到经第二次干湿交替后, 在第三次干旱中, 同样的干旱程度能保持较高的生长速率。RGR 与 ϕ_w 相比较可以看出, 随叶水势下降, 生长速率下降, 第一次干旱生长速率快速下降 ϕ_w 为 - 1.2 MPa; 第二次在 - 1.3 MPa; 第三次为 - 1.4 MPa。生长迅速下降的叶水势有随干湿交替次数增加而降低的趋势。证明渗透调节作用的存在, 当复水后在同水势下相对生长速率明显高于第一次处理, 证明干湿交替诱导的渗透调节能够使玉米维持干旱下的生长。

2.2 土壤干湿交替对叶片气孔导度和蒸腾速率的影响

由表 2 可以看出, 在对照适宜土壤条件下叶片气孔导度始终维持在 190~ 210 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 蒸腾速率在 3.0 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 左右, 而在干湿交替处理过程中, 气孔导度有明显变化过程。随叶水势(表 1) 下降气孔导度和蒸腾速率明显下降; 与表 1 变化相一致, 经第一次干旱后, 气孔导度降至 98 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 蒸腾速率降至 1.22 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 而经复水 24h 后气孔导度和蒸腾未能升至对照水平, 48h 后气孔导度才恢复到 160 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 蒸腾速率升至 2.46 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 第二次干旱 7 天后, 气孔导度逐渐降至 70 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 复水后 24h 升至 131 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 48h 后升至 147 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 证明土壤反复干旱后气孔行为有明显后效控制作用, 能有效控制复水后的蒸腾速率。

表 1 土壤干湿交替对玉米叶水分状况和生长速率的影响

交替过程	第一次干旱过程										第二次干旱过程										第三次干旱过程																																													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
相对含水量(%)	94	93	92	88	85	80	76	93	92	89	85	81	75	90	94	93	92	90	89	85	82	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-0.6	-0.7	-0.9	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.3	
叶水势(MPa)	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-0.6	-0.7	-0.9	-1.0	-1.2	-1.4	-1.7	-0.8	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.6	-0.9	-1.1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.6	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.8	-1.9	-2.0	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.3	
渗透势(MPa)	-0.8	-0.9	-1.0	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.6	-0.9	-1.1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.8	-1.9	-2.0	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.3																						
叶膨压(MPa)	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.3	—	0.43	0.42	0.37	0.36	0.31	0.1	0.06	0.46	0.45	0.40	0.36	0.34	0.15	0.09	0.45	0.44	0.40	0.37	0.35	0.26	0.11																						
叶相对生长速率 mm cm ⁻¹ d ⁻¹	—	0.43	0.42	0.37	0.36	0.31	0.1	0.06	0.46	0.45	0.40	0.36	0.34	0.15	0.09	0.45	0.44	0.40	0.37	0.35	0.26	0.11	—	0.43	0.42	0.37	0.36	0.31	0.1	0.06	0.46	0.45	0.40	0.36	0.34	0.15	0.09	0.45	0.44	0.40	0.37	0.35	0.26	0.11	—	0.43	0.42	0.37	0.36	0.31	0.1	0.06	0.46	0.45	0.40	0.36	0.34	0.15	0.09	0.45	0.44	0.40	0.37	0.35	0.26	0.11

表 2 土壤干湿交替对玉米叶片气孔导度和蒸腾速率的影响

交替过程	第一次干旱过程										第二次干旱过程										第三次干旱过程																																													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
气孔导度 (mmol m ⁻² s ⁻¹)	198	208	178	199	196	210	200	199	189	194	171	183	196	190	201	192	194	199	187	211	204	210	203	184	172	180	153	131	98	140	161	153	124	82	70	68	147	120	114	105	86	72	69	3.31	3.03	2.82	2.73	2.50	2.79	2.90	3.15	2.67	2.82	2.73	3.01	2.85	2.76	3.01	3.10	2.96	2.85	2.94	2.77	3.02	3.12	
蒸腾速率 (mmol m ⁻² s ⁻¹)	3.31	3.24	2.88	2.54	2.63	2.31	1.96	1.22	2.24	2.46	2.43	2.21	1.43	1.10	0.92	1.24	1.3	0.99	0.97	0.14	0.70	0.65	3.31	3.03	2.82	2.73	2.50	2.79	2.90	3.15	2.67	2.82	2.73	3.01	2.85	2.76	3.01	3.10	2.96	2.85	2.94	2.77	3.02	3.12	3.31	3.24	2.88	2.54	2.63	2.31	1.96	1.22	2.24	2.46	2.43	2.21	1.43	1.10	0.92	1.24	1.3	0.99	0.97	0.14	0.70	0.65

2.3 干湿交替对玉米耗水量的影响

由表 3 可以看出, 随干旱加剧(1, 3, 5 天)蒸腾耗水量下降。第一次干旱过程中耗水量高于第二次, 而第二次同样干旱条件下高于第三次。在反复干湿交替中, 同一天耗水量有明显差异, 在处理第 3 天时, 干湿交替第二次过程比第一次降低 11.36%, 第三次比第二次降低了 11.47%, 而在第 5 天分别下降了 17.4% 和 14.7%。一直处于湿润状态的玉米植株耗水量远大于干湿交替处理植株, 并随干湿交替处理次数增加, 单株蒸腾耗水量有下降趋势, 这与气孔导度和蒸腾速率下降有关^[5,6]。

表 3 干湿交替对玉米蒸腾耗水量的影响($\text{g 株}^{-1} \text{h}^{-1}$)

干旱过程天数	第一次干旱	第二次干旱	第三次干旱	对照一直湿润
1	2.750	2.406	2.225	2.980
2	1.830	1.622	1.436	3.021
3	1.245	1.023	0.873	3.173

2.4 土壤干湿交替对玉米生长量及总水分利用效率的影响

由表 4 可以看出土壤充分湿润条件下的玉米单株耗水量明显高于干湿交替处理, 而生物量也有所下降, 但每 kg 水生产干物质 g 数所表示的水分利用率则明显提高, 根苗比明显增大, 这不仅有利于提高用水效率, 并且能为后期籽粒形成发育一个良好的根系。

表 4 土壤干湿交替对玉米生长量及总水分利用率的影响

项目	对照	干湿交替处理
平均单株总耗水量(ml)	2 100	1 450
平均单株生物量(g)	地上部(g)	11.25
	根 部(g)	2.75
	总 量(g)	14.00
根冠比	0.24	0.26
水分利用效率(g kg^{-1})	6.67	7.59

3 结论

经实验证明, 玉米在 3 至 4 叶期历经土壤水分缓慢亏缺, 再行复水的干湿交替后, 玉米的渗透调节能力增强, 有利于膨压保持, 维持干旱下的生长, 使生长速率快速下降的水势阈值下降; 在复水后同水势下的生长速率增加, 证明干湿交替引起的渗透调节能够维持干旱条件下玉米的生长速率; 干湿交替使生物量有所下降, 但大幅度降低了耗水量, 使水分利用效率明显提高, 耗水量的下降主要是由于气孔导度下降, 蒸腾速率降低。再行复水过程中, 生长速率得到恢复, 而气孔蒸腾始终不能恢复到对照水平, 表现出后效作用; 同时干湿交替能够使根苗比增大。这些变化对玉米生长后期籽粒的形成耐旱性的提高和灌浆速率的维持有重要作用。这些结论的获得可以为节水灌溉提供指导, 通过人为控制不同生育时期的供水量和供水时间, 形成干湿交替过程, 促进作物渗透调节和补偿效应, 以发挥作物自身潜力, 实现高产、高效、优质的目的。

参 考 文 献

1. 邵明安, 梁宗锁. 节水农业中的土壤学问题. 西北农业学报, 1999, 8(6): 6~ 11
2. 山仑, 邓西平, 苏佩等. 挖掘作物抗旱节水潜力——作物对多变低水环境的适应与调节. 中国农业科技导报, 2000, 2(2): 16~ 70
3. 邓西平, 山仑. 旱地春小麦对有限灌溉水高效利用的研究. 干旱地区农业研究, 1995, 13(3): 42~ 45
4. 高俊风主编. 植物生理实验技术. 西安: 世界图书出版公司, 2000. 57~ 71
5. Kramer PJ. Water Relations of Plant, New York: Academic Press, 1983
6. Jones HG. Plants and Microclimate. University Press. Cambridge, 1992